

## Oponentský posudek disertační práce Ing. Samera Al Khaddoura

### *Fracture Behaviour of Steels and Their Welds for Power Industry*

Problematika svarů ocelových dílů energetických zařízení je aktuální zejména v poslední době, kdy se narazilo na pochybné revize svarů v obou našich jaderných elektrárnách a kdy se prodlužují licence na provozování některých bloků JE Dukovany. Autor samozřejmě nemohl postihnout celou šíři problémů vymezených velmi širokým názvem práce, soustředil se na oblast stanovení a předpovědi referenční teploty v teplotní závislosti lomové houževnatosti základního materiálu i svarových spojů pomocí přístupu tzv. *master křivky*.

Ve shrnutí současného stavu poznatků autor přináší stručný přehled lomové mechaniky spolu s přístupem tzv. *master křivky*. Podrobněji popisuje zkušební postupy využívající miniaturní zkušební vzorky, které jsou často jedinou možností, jak získat experimentální údaje o materiálech součástí, které mají za sebou delší dobu provozu a ještě je další provoz čeká. Naopak velmi stručně (cca 5 stran textu) popisuje využití umělých neuronových sítí (dále ANN) v materiálovém inženýrství. Vzhledem k tomu, že se dosud nejedná o zcela standardní a široce rozšířenou metodu a je na ní založena nosná část disertační práce, zasloužila by si jistě obšírnější popis jdoucí k podstatě metody a popisující její specifika.

Cíle práce formuluje autor stručně a jasně: (i) verifikace použitelnosti koncepce *master křivky* pro svarové spoje rozdílných ocelí před a po stárnutí, (ii) stanovení jejich referenční teploty a (iii) předpověď referenční teploty s použitím ANN, přičemž poslední z cílů představuje těžiště disertace. Již zde lze předeslat, že všechny cíle byly *rámcově* splněny.

Po dostatečně podrobném popisu experimentálního materiálu popisuje autor provádění zkoušek lomové houževnatosti a u tahových zkoušek vedle hladkých tyčí uvádí i tyče vrubované, které si vyžádala snaha o dosažení křehkého porušení tyčí. Popis ANN se omezuje na výběr čtyř modelů lišících se množinou vstupních parametrů.

V souhrnu výsledků jsou nejdříve prezentovány výsledky měření lomové houževnatosti základního materiálu a svarového spoje jak v původním stavu, tak i po stárnutí při 450 °C po dobu 400, 700 a 1000 hodin. Jejich shrnutí nalezneme v tabulce 9 uvádějící referenční teploty pro tyto materiály. Dle očekávání má stárnutí malý vliv na základní materiál, ale docela výrazný na svarové spoje, vždy ale má svarový spoj nižší referenční teplotu než základní materiál. Následuje prezentace výsledků čtyř modelů ANN specifikovaných v tabulce 10. Podle ní by měly být první a čtvrtý model shodné, teprve v jejich podrobném popisu se čtenář dozví, že poslední model pracuje s menším počtem vstupních parametrů zjištěných tahovou zkouškou.

Pro oponenta, který je velkým fandou, nikoli však důkladným znalcem ANN, jsou některé získané výsledky překvapivé. Zejména je to zásadní vliv přidání hodnoty pokojové teploty coby konstanty do množiny vstupních parametrů. Dále je překvapující velká významnost tvrdosti a absolutní bezvýznamnost meze kluzu a pevnosti hned v prvním modelu (viz obr. 51 až 54), přestože jsou známy velmi vysoké korelace mezi tvrdostí a oběma mezemi a zejména přepočtu tvrdost  $\rightarrow$  mez pevnosti se s úspěchem v technické praxi hojně využívá (na druhé straně je pravda, že použití 29 souborů dat je pro ANN hluboko pod doporučovaným počtem, zde však autor neměl jinou reálnou možnost). Je škoda, že diskuse, která jinak sice stručně, ale celkem výstižně komentuje získané výsledky, se těmto neobvyklostem vyhýbá. Úspěšnost ANN v predikci referenčních teplot má dokládat tabulka 17, kde zřejmě autor opomenul uvést záporné znaménko u tří hodnot naměřené referenční

teploty. Po této opravě je shoda velmi dobrá (do 10 °C), bez ní by byla celá disertace zbytečná – chybě předpovědi 150 °C by úspěšně konkurovalo i věštění z křišťálové koule!

Závěry vystihují obsah disertace, jisté rozpaky vyvolává citovaná literatura. Jednak se do ní zatoulaly odkazy [36] a [58] s tematikou práce nesouvisející, jednak podíl nejčerstvějších článků s vazbou na bouřlivě se rozvíjející oblast ANN není nijak závratný. Následují autorovy publikace ve vztahu k tématu disertace a výčty obrázků a tabulek. Velmi užitečný je přehled použitých veličin, jejich symbolů a jednotek, kde by měly být jednotky a indexy symbolů, pokud to nejsou zkratky veličin, psány stojatě. Užitečný je seznam zkratek, dodatek (vhodnější označení je *Appendix* než *Annex*) je opravdu jen pro dokreslení chování spousty submodelů ANN.

Práce jako celek je celkem zdařilá. Její angličtina je zejména v úvodní teoretické části velmi čtivá – používá jednoduché vyjadřování a běžná slovní zásoba nepřilíší přesahuje základní slovník *Basic English*. Autor však kolísá mezi britským a americkým pravopisem (*behaviour* vs. *behavior*, zdvojování koncového *-l* u sloves atd.). Výjimečně se objevuje neshoda podmětu a přísudku v čísle (koncová *-s*). Raritou je pro oponenta použití slova *committee* pro soubor vstupních parametrů modelů ANN (nezaměnil autor v česko-anglickém slovníku slova *výběr* a *výbor*?).

Formální úprava práce je plně vyhovující. Důsledně je používán editor rovnic, který řadu formálních problémů eliminuje. Zde lze pouze upozornit na psaní zkratek funkcí stojatě (*sin*, *cos*, *ln*, *tanh*, *exp*) a využívání hierarchie závorek  $\langle [()] \rangle$ . Občas se objevují nadbytečné tečky pro násobení. Pravidlo oddělovat číslo a jednotku u hodnot veličin porušuje autor pouze někdy a výhradně u teplot v Celsiově stupnici a procent. Obecně se nedoporučuje psát v jednovětvých odstavcích.

Následující výběr drobných formálních nepřesností a připomínek oponenta nesnižuje úroveň práce. Měl by posloužit k případné opravě a zamezení přenosu do následných publikací, ze strany oponenta se jedná i o snahu prokázat, že práci skutečně četl:

s. 25, 11. řádek zdola: *Kleinstprobe* znamená *the smallest specimen* nebo *very small specimen* (ovšem označení *small specimen* se běžně používá),

s. 41, obr. 24: není svou podstatou odlišný od obr. 19 (stačilo odkázat),

s. 43, 7. řádek shora: *if when* je zdvojení významu,

s. 47, 7. řádek shora: stačí ... *thermocouples welded*...

s. 47, rovnice (41 až 45): již jsou uvedeny jako rovnice (11) až (15) na s. 12 (stačilo odkázat),

s. 49: liší se délka tyče na obrázku a v textu,

s. 50: chyba ve vztahu (51) – poslední výraz v čitateli má obsahovat  $W^2$ ,

s. 50, vztahy (56) a (57): zaměnit  $V$  za  $v$ ,

s. 51, 2. řádek zdola: vhodnější než rychlost příčniku je použít rychlost deformace,

s. 53, vztah (69): tangens se značí v angličtině *tan*; *slope* by bylo vhodnější označit přesněji, vybrat vhodnější symbol a uvést jej v seznamu symbolů,

s. 68 a následující: zejména zde by bylo vhodné přeuspořádat text, tabulky a obrázky – např. tabulka 12 odkazovaná na s. 68 se nachází až na s. 75,

s. 68, tabulka 10: upravit tak, aby byla zřejmá odlišnost 1. a 4. modelu i v této tabulce,

- s. 69, 2. řádek shora: není vhodnější *dispersed* než *noisy*?,
- s. 69, 15. řádek shora: není vhodnější *estimations* než *guesses*?,
- s. 71, tabulka 11 (i další podobné tabulky): upravit počet platných číslic (uvádění napětí na desetitisíciny MPa postrádá smysl),
- s. 73, 2. řádek pod rovnicí:  $l$  zde není exponent, ale horní index,
- s. 97, 3. řádek shora: v odborném textu nelze použít zkrácené slovesné tvary,
- s. 98, začátek 2. odstavce: sousloví *dissimilar weld joint* se opakuje.

Aktuálnost a naplnění cílů práce již byly konstatovány. Autor měl dostatečný prostor pro vlastní konkrétní přínos, směřuje k němu i jedna z otázek. Disertace prokazuje autorovu schopnost samostatné vědeckovýzkumné práce. Aby mohla být považována za významný příspěvek pro rozvoj oboru i pro průmyslovou praxi, bude třeba v klidu uzavřít problematiku, dotáhnout přesvědčivou prezentaci výsledků a vyrovnat se s možná jen zdánlivě rozpornými výstupy.

Pokud se týče předložených tezí, představují celkem zdařilý a reprezentativní výtah z disertační práce, jen místy má čtenář dojem *vyseknutí* z rozsáhlejšího textu (mj. i literatura). Jejich struktura odpovídá velmi přesně předepsanému členění. Bohužel část nepřesností disertace se dostal do tezí, výjimečně se objevují i další – např. název kapitoly 5.2 (v textu i v obsahu). Autorův životopis je již včleněn.

Závěrem lze konstatovat, že disertační práce byla věnována velmi aktuálnímu a užitečnému tématu a všechny v ní vytčené cíle byly rámcově splněny. Problematika byla řešena cílevědomě na úrovni doby, získané výsledky jsou užitečné a dostatečně srozumitelně prezentované. Formální úprava práce je dobrá, jazyková úroveň mírně nadprůměrná, nedostatky nezanedbatelné, ale obvyklé u tohoto druhu prací. **Proto doporučuji, aby předložená práce byla přijata jako práce disertační a po její úspěšné obhajobě byl autoru udělen titul Ph.D.**

Otázky pro autora:

1. Můžete prezentovat finální verzi tabulky 17, která je nejreprezentativnějším stručným vyjádřením výsledků práce?
2. Vstupy pro ANN jste z větší části převzal, využil jste SW kolegů z Cambridge, literatura [74-77, 79] dávala určitou záruku, že se disertace orientuje správným směrem. Můžete specifikovat, co v disertační práci představuje Váš ryze osobní přínos? Kterého výsledku si ceníte nejvíce? Které výsledky Vás překvapily a bylo by vhodné je ověřit či hlouběji studovat?

V Brně 9. března 2017

prof. RNDr. Jan Kohout, CSc.  
katedra matematiky a fyziky  
Univerzita obrany, Brno